

面向多寿命周期的全域再制造升级系统^{*}

姚巨坤, 朱 胜, 崔培枝, 时小军

(装甲兵工程学院 再制造技术重点实验室, 北京 100072)

摘 要: 再制造升级能够高效益提升产品的综合性能, 实现产品的多寿命周期循环使用, 具有重要的资源、经济和社会效益, 是再制造工程的重要组成部分及发展方向。建立了面向产品设计、制造、使用、再制造等多寿命周期的再制造升级全域工作内容, 提出了涵盖支撑技术外围层、评估技术过渡层、实现技术核心层的三层次多寿命全域再制造升级技术内容框架, 并重点给出了核心层再制造升级实现技术的主要内容; 关键的实现技术为基础, 进一步拓展构建了基于理论基础、工程技术和应用工具的三模块再制造升级工程理论与技术系统, 明确了再制造升级的理论、技术与应用 3 方面应包括的实施内容; 以研究的体系成果为指导, 建立了机床再制造升级系统工艺流程, 并开展了机床数控化再制造升级验证, 升级后的机床满足了数控化和精度要求。

关键词: 多寿命周期; 再制造升级; 理论技术; 机床升级

中图分类号: TH16

文献标志码: A

文章编号: 1007-9289(2015)05-0129-07

Whole Domain Remanufacturing Upgrade System Facing Product Multi-life Cycle

YAO Ju-kun, ZHU Sheng, CUI Pei-zhi, SHI Xiao-jun

(Science and Technology on Remanufacturing Laboratory, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072)

Abstract: Remanufacturing upgrade (RmU), which can promote the comprehensive performance of the old product and realize its multi-life cycles use, has an important resource, economic and social benefits, also it is the important content of remanufacturing engineering and development direction. Based on the analysis of product multi-life cycle and related RmU concept, the whole RmU domain work content facing the product design, manufacturing, materials, and using was set up, then put forward remanufacturing upgrade technology system that include support technology layer, evaluation technology layer and implement technology layer, and detail introduce the implement technology content that is the core of RmU. Based on the three layers technology, construct the three model RmU theory and technology system, then constructed three modules of remanufacturing system that includes the theory base, engineering technology, application tools; finally based on the system, build the RmU system process of machine tool, and carry out the old machine tool RmU, upgraded machine tool reach to the numerical control and precision demand.

Keywords: multi-life cycle; remanufacturing upgrade; theory of technology; machine tool upgrade

0 引 言

环境污染、资源匮乏已经成为制约机械制造的重要因素, 而再制造工程可以实现老旧产品的再生使用, 减少新品生产, 具有重要的资源和环

境价值^[1]。但随着技术更新换代的加快, 产品退役越来越多的是因为性能落后的原因, 仅仅对其进行再制造性能恢复, 无法满足市场需求。在此背景下, 再制造升级作为再制造的重要方式, 得到了广

收稿日期: 2015-06-20; **修回日期:** 2015-09-16; **基金项目:** * 装备“十二五”预研项目(51327040402); 全军军事科研“十二五”计划(13QJJ003-041)

通讯作者: 姚巨坤(1974—), 男(汉), 讲师, 博士; **研究方向:** 装备再制造; **Tel:** (010) 719 248; **E-mail:** yaojk@sohu.com

网络出版日期: 2015-09-21 13:55; **网络出版地址:** <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20150921.1355.002.html>

引文格式: 姚巨坤, 朱胜, 崔培枝, 等. 面向多寿命周期的全域再制造升级系统[J]. 中国表面工程, 2015, 28(5): 129-135. Yao J K, Zhu S, Cui P Z, et al. Whole domain remanufacturing upgrade system facing product multi-life cycle[J]. China Surface Engineering, 2015, 28(5): 129-135.

泛的关注,并在工程实践中得到了一定的应用^[2]。

但废旧产品再制造升级过程的工程实现是一个复杂的系统问题,涉及到产品设计过程中对再制造升级性指标的设计、再制造升级的组织实施、以及再制造升级保障资源的优化、再制造升级性的评价及其工程应用等内容,再制造升级的实施过程相对制造、维修和传统的再制造更具有物流、技术和管理复杂性,因此,再制造升级实施需要相关理论技术和实施方法的支持,解决直接影响再制造升级实施效益的相关问题。例如,如何从全系统多寿命的观点来认识和分析再制造升级系统?如何实现产品易于再制造升级的性能设计?实施再制造升级的策略和方法是什么?应该采取何种再制造升级技术途径?如何进行再制造升级保障资源优化决策?等等。这些问题都有待深入研究,并进一步指导工程实践。

目前再制造技术及其工程应用成果较多,但当前再制造领域主要研究的是以性能恢复为主的传统再制造模式,虽然在工程应用中开展了多项产品的再制造升级实践探索,但对再制造升级理论研究文献还比较少,尤其是对再制造升级领域的基本理论研究,例如再制造升级的理论与技术框架等方面,尚缺乏深入研究。文中针对再制

造升级的基本理论问题,研究明确了再制造升级工作流程,技术内容、理论与技术体系,为再制造升级开展提供系统支持。

1 面向多寿命周期的全域再制造升级工作

产品再制造升级贯穿于产品多寿命周期的各个过程,具有重要的地位和作用,并在各个阶段都具有可操作的工作内容。根据产品多寿命周期过程^[3],并综合考虑再制造升级的作用任务,可以列出在产品多寿命周期过程中的再制造升级工作,如图 1 所示。可知从产品第一次寿命周期的论证阶段、设计阶段、制造阶段、使用阶段到废弃阶段,都包含着再制造升级的工作内容,也正是这些再制造升级内容的考虑和使用,才实现了产品的第 2 次…第 N 次的多寿命周期使用。在面向装备全寿命周期的全域阶段,开展不同阶段的再制造升级活动时,均采用不同的技术内容及理论与工程支撑,且各个寿命周期内所采用的技术内容方法和工程实现思想基本相同。因此,构建基于一寿命周期的装备再制造升级的技术内容及理论体系,明确其不同的支撑、保障与实现技术内容,建立相应的实施工具手段,对于开展产品的再制造升级工作具有重要意义^[4-6]。

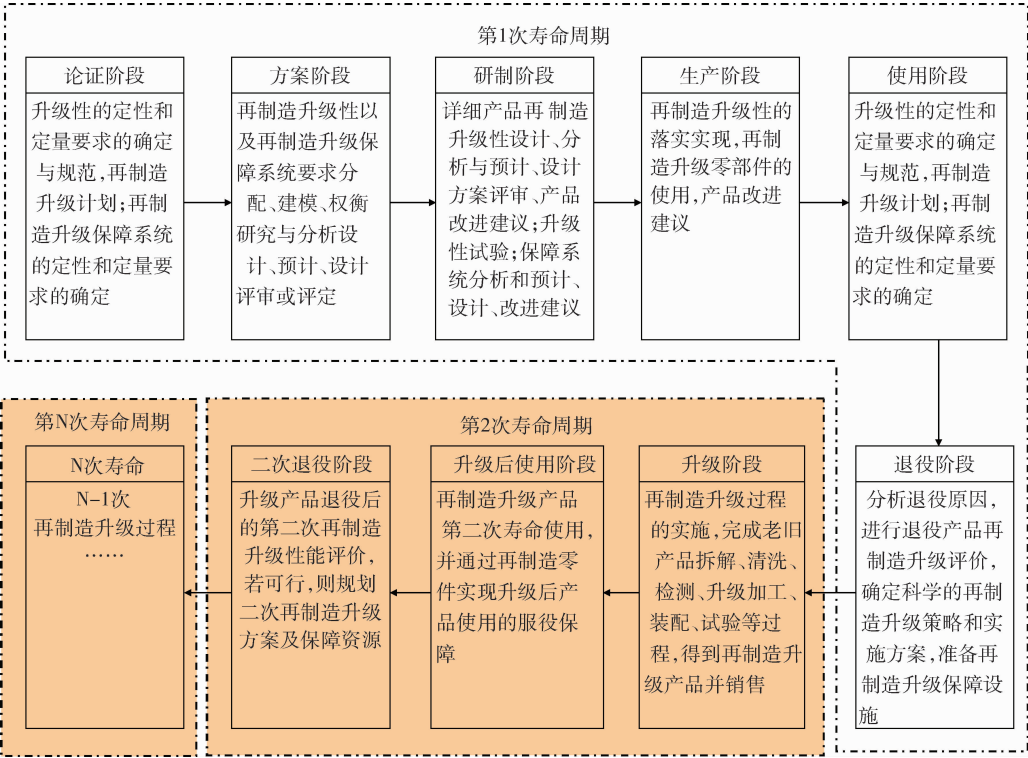


图 1 装备全寿命周期中的再制造升级工作

Fig. 1 Whole domain remanufacturing upgrade work in the product multi-life cycle

2 全域再制造升级技术内容

根据再制造升级全域的工作内容,为更了解不同技术内容在再制造升级工程过程中的地位和作用,可以面向装备多寿命周期过程中涉及的再制造升级全域工作内容,构建一个由里向外的三层次结构的产品再制造升级技术内容框架,如图 2 所示,包括产品再制造升级工程技术层、再制造升级评估监控技术层、再制造升级支撑技术层,其中工程技术层处于再制造升级的最中心层次,是升级的直接实现手段;评估监控技术层是质量保障的控制手段,服务于工程技术层,属于过渡层次;支撑技术层体现了升级实现的技术基础,处于最外围层次,起辅助支撑作用;由此形成了技术的核心层、过渡层、外围层由核心至外围的三层次结构框架。

根据面向再制造升级周期的全域过程,再制

造升级工程技术层是再制造技术的核心内容和直接实现手段,可进一步划分为面向产品研制设计阶段的再制造升级性设计技术、面向再制造升级开展前的再制造升级规划技术,面向再制造升级加工过程的再制造升级工艺技术及面向再制造升级产品质量保证的再制造升级质量控制技术等 4 大类关键技术。这 4 大类关键技术分布在产品再制造升级全域的不同阶段,并各具特点,需要根据其实施的应用特征进一步划分。因此根据各项关键技术的工程应用特点,可以将产品再制造升级周期技术层进一步细分,便可构成产品再制造升级工程应用技术层。

2.1 再制造升级性设计技术

再制造升级性设计技术主要是指在产品设 计时如何通过设计来赋予产品较高的可升级性,以便在产品服役过程中能够便于对其进行再制造升级。

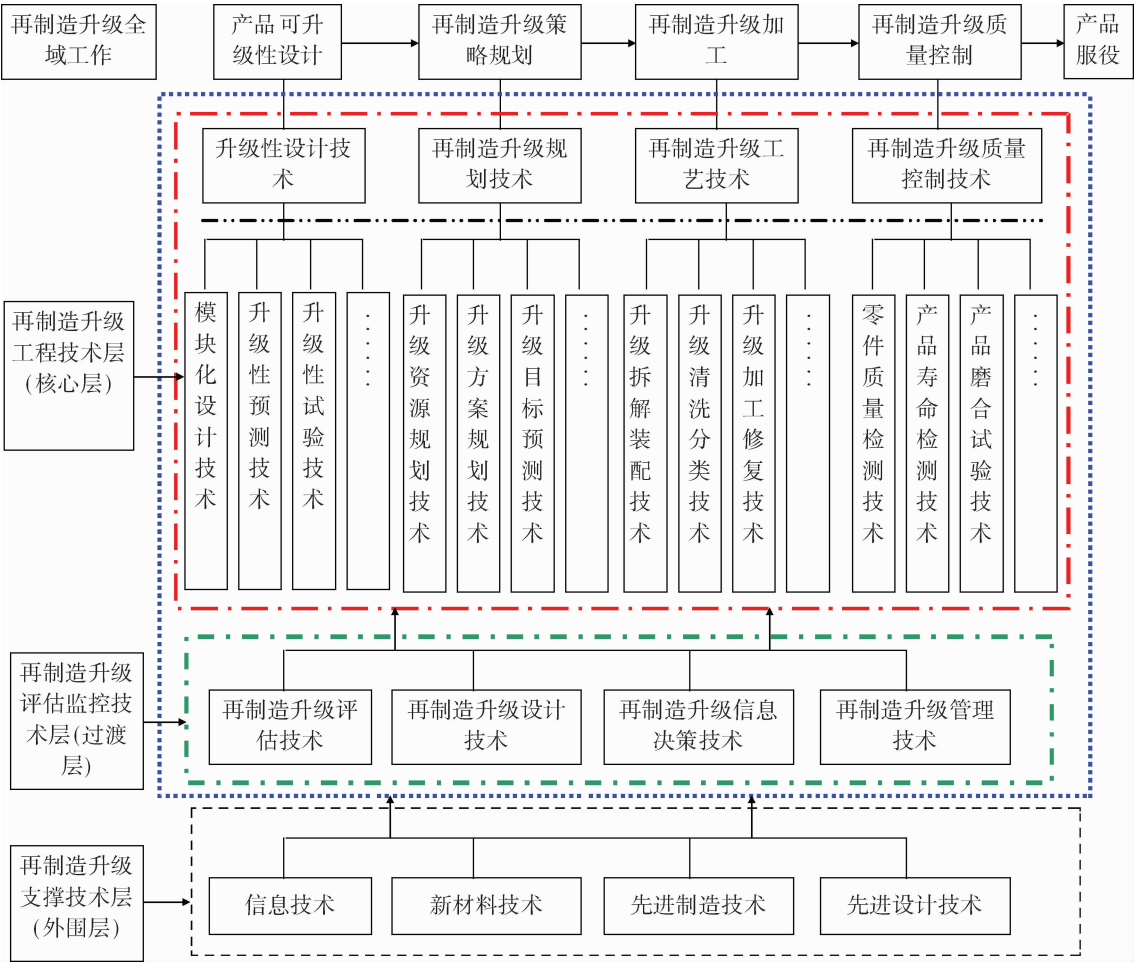


图 2 全域再制造升级技术内容

Fig. 2 System of the whole domain remanufacturing upgrade technology

产品的再制造升级性决定着再制造升级的便利性和效益,并在很大程度上决定着再制造升级的成败。尤其是产品的可再制造升级性设计与表现出来居于产品寿命周期的不同过程,期间存在着较大的时间差,并且由于技术发展预测的模糊性,导致了产品可升级性设计存在着较大的难度。产品的可升级性设计技术方法及方法主要包括产品的模块化设计、标准化设计、材料可修复性设计、结构可变性设计、可拆解性设计、可清洗性设计、易运输性设计、功能预测性设计等。

2.2 再制造升级规划技术

再制造升级规划技术主要是指在旧品实施再制造升级前,根据产品的实际物理属性、产品功能需求、技术发展环境,来综合评价并规划采用的可行的最优再制造升级实施策略,并对其生产过程中的保障资源、岗位需求、生产目标等进行规划,以便达到效益最大化^[7]。再制造升级规划技术是实现科学再制造升级实施的前提,直接决定着再制造升级的工艺过程、再制造升级产品性能及再制造升级综合效益。再制造升级规划技术与方法主要包括再制造升级实施方案规划、再制造升级保障资源规划、再制造升级目标预测、再制造升级实施岗位规划、再制造升级影响要素分析等内容。

2.3 再制造升级工艺技术

再制造升级工艺技术主要是实施完成产品的再制造升级加工过程所采用的所有工艺和技术方法,它是实现产品再制造升级的本质过程,包括旧品再制造生产中的拆解、清洗、加工及装配等工艺技术。再制造升级工艺技术是实现再制造升级的具体过程保证,是直接决定着再制造升级产品质量目标的最关键内容。其主要包括拆解技术、清洗技术、机械加工技术、表面工程技术、装配技术、涂装技术等内容。

2.4 再制造升级质量控制技术

再制造升级质量控制技术主要是指面向再制造升级全过程来保证并检测再制造升级产品质量的所有方法和技术,通常可包括涂装技术、磨合与试验技术、质量在线监控技术等。再制造升级质量控制技术面向于产品再制造升级的全过程,全面保证再制造升级产品的质量,其主要包括零件检测技术、寿命评估与预测技术、磨合试验技术等。

3 再制造升级工程理论与技术系统

根据产品再制造升级的全域工作内容和再制造升级技术内容,可进一步构建再制造升级工程的理论与技术系统框图,如图 3 所示。再制造

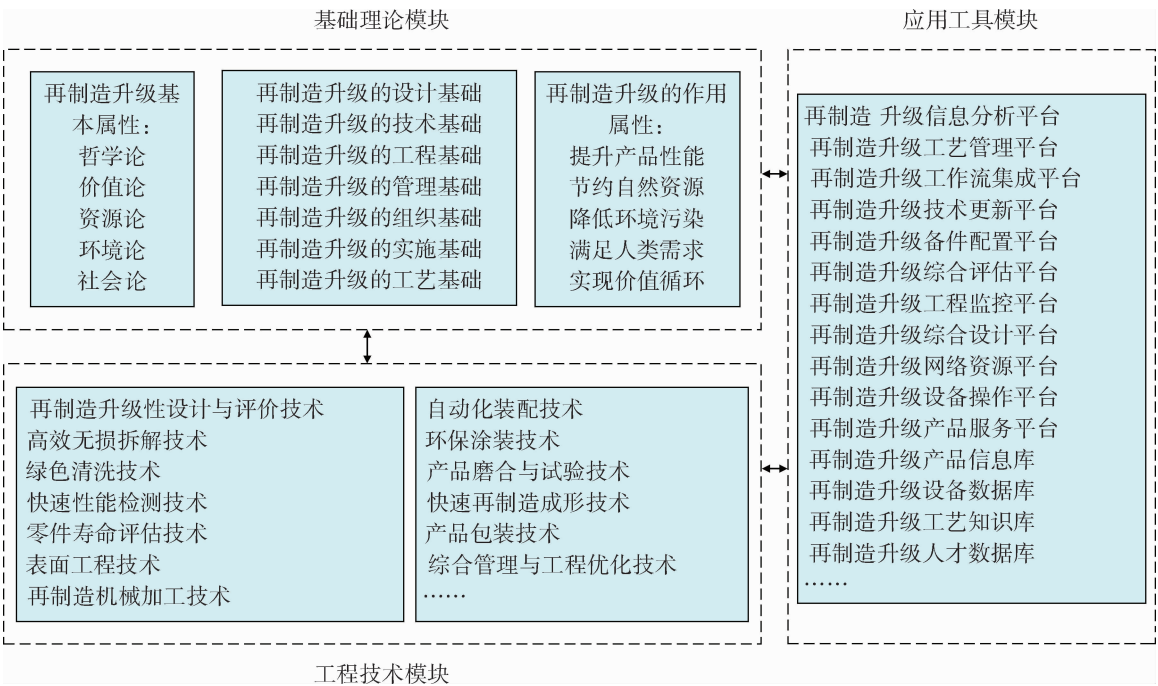


图 3 再制造升级理论与技术系统体系

Fig. 3 Framework of the remanufacturing upgrade theory and technology system

升级的理论系统框架包括基础理论模块、工程技术模块和应用工具模块,其中理论是升级的基础,工程技术是升级的实现方式,应用工具是支持手段,3个部分以第二部分所描述的工程技术内容为升级实现的核心,向基础部分拓展为基础理论模块,向工程部分拓展表现为升级的应用工具模块,同时三者又相互补充、完善、支撑。

3.1 基础理论模块

基础理论模块包括再制造升级的概念内涵、构成要素、工艺方法和设计管理等内容,它为工程技术模块和应用工具模块提供再制造升级的发展观和基本属性支持。

产品再制造升级基础的理论研究应包括3项主要内容:①要从哲学、价值、资源、环境等基础出发,深入认识再制造升级的发展属性。②深入研究建立再制造升级的设计、技术、工程、管理等基础理论内容,为再制造实施建立支撑。③深刻认识再制造升级在产品多寿命周期、社会生产、环境保护等方面的作用地位。产品再制造升级的理论创新的基点是对产品再制造升级历史性内涵、发展需求意义、哲学性发展规律、综合发展基础、整体性要素结构的认知研究。

再制造升级作为一种需求越来越强烈的工程应用,仅仅从再制造升级技术层面无法解决它的本质问题,必须融合先进的信息科学、管理科学和社会科学的研究成果才能将再制造升级系统化、科学化和实用化。再制造升级理论技术体系需要着重从组织实施、设计规划、保障资源和综合评价等4个方面展开再制造升级的研究。

3.2 工程技术模块

工程技术模块主要研究再制造升级的支撑技术,这些技术大致可分为3类:支持再制造升级性设计的再制造升级性设计与评价技术、支持再制造工艺流程的再制造升级加工技术、支持再制造升级优化应用的综合评价管理技术。

第一类以新产品再制造升级性的设计与验证为研究内容,包括再制造升级性的设计方案论证、指标分配、指标拆解、试验应用等相关内容;第二类以实现再制造升级的具体工程加工应用实现为研究内容,包括拆解、清洗、分类、加工、装配、涂装、试验、质量控制等相关内容;第三类是面向再制造升级全域的再制造升级管理与评估技术,以实现再制造升级的全域优化为目标,主

要包括:再制造升级保障资源优化、信息管理、售后服务、物流管理等相关内容。

3.3 应用工具模块

应用工具模块包括了实施再制造升级所需要的支持工具,其核心是各种资源平台、软件平台和数据信息库,包括再制造升级信息分析平台、工艺管理平台、工作流集成平台、技术更新平台、备件配置平台、综合评估平台、工程监控平台、综合设计平台、网络资源平台、设备操作平台、产品服务台、产品信息库、设备数据库、工艺知识库、人才数据库等内容。这些平台和数据库是再制造升级理论与工程实际需求的有机结合,是提高再制造升级效益的有力手段。

4 机床数控化再制造升级系统分析

机床的数控化再制造升级是再制造升级的重要应用领域,在国内外都开展了大量的工程实践活动。大量的老旧机床在逐步退出第一次服役寿命周期,对其进行数控化再制造升级,则可以实现其多寿命周期使用。

机床自第一次设计制造完成后,可以通过不断的进行再制造升级工作实施,完成其功能或性能的提升,满足多个寿命周期服役要求。每次的机床再制造升级实施,都是一个完整的系统工程,既包括了再制造升级的设计、拆解、清洗、检测、修复、升级加工、装配、调试等工程技术层次内容,也包括了面向再制造升级技术所需的各种人力、信息、设备、评估、服务、物流等综合保障资源平台。

根据文中所提出的再制造升级全域工作内容,及前述的再制造升级理论和技术体系内容,可将机床数控化再制造分为老旧机床数控化再制造理论模块、再制造升级工程技术模块、数控化再制造工具模块3个方面的内容,来开展机床的再制造升级工作。

为保障机床再制造工作的开展,笔者对机床再制造的理论基础内容,包括机床再制造升级性的设计、升级需求预测、升级过程规划等开展了研究,构建了基于QFD的机床再制造需求预测与决策方法、机床的升级性设计方法,为机床再制造升级提供了指导;再制造升级工程技术层次主要进行机床再制造升级各项技术应用、工艺优化等,探索形成了基于表面技术、数控技术的机

床再制造升级技术方案,保证了机床升级后数控性能与精度的提升;在再制造升级的工具层次,开发了机床数控化再制造升级数据决策软件,建立了进行升级技术、备件种类、生产设备、工人等各种保障资源选择评估的信息数据库,可主要为再制造升级决策提供手段工具。

在系统研究机床再制造升级理论基础、技术

内容和工具方法的基础上,依据文中提出的再制造升级的工艺技术全域过程体系,根据再制造升级所受到的产品结构、技术状态、功能需求等多种因素的制约,采用机床数控化再制造升级的需求目标确定方法和再制造升级的一般工艺技术方案,构建了机床的再制造升级工作再制造实施流程,如图 4 所示。

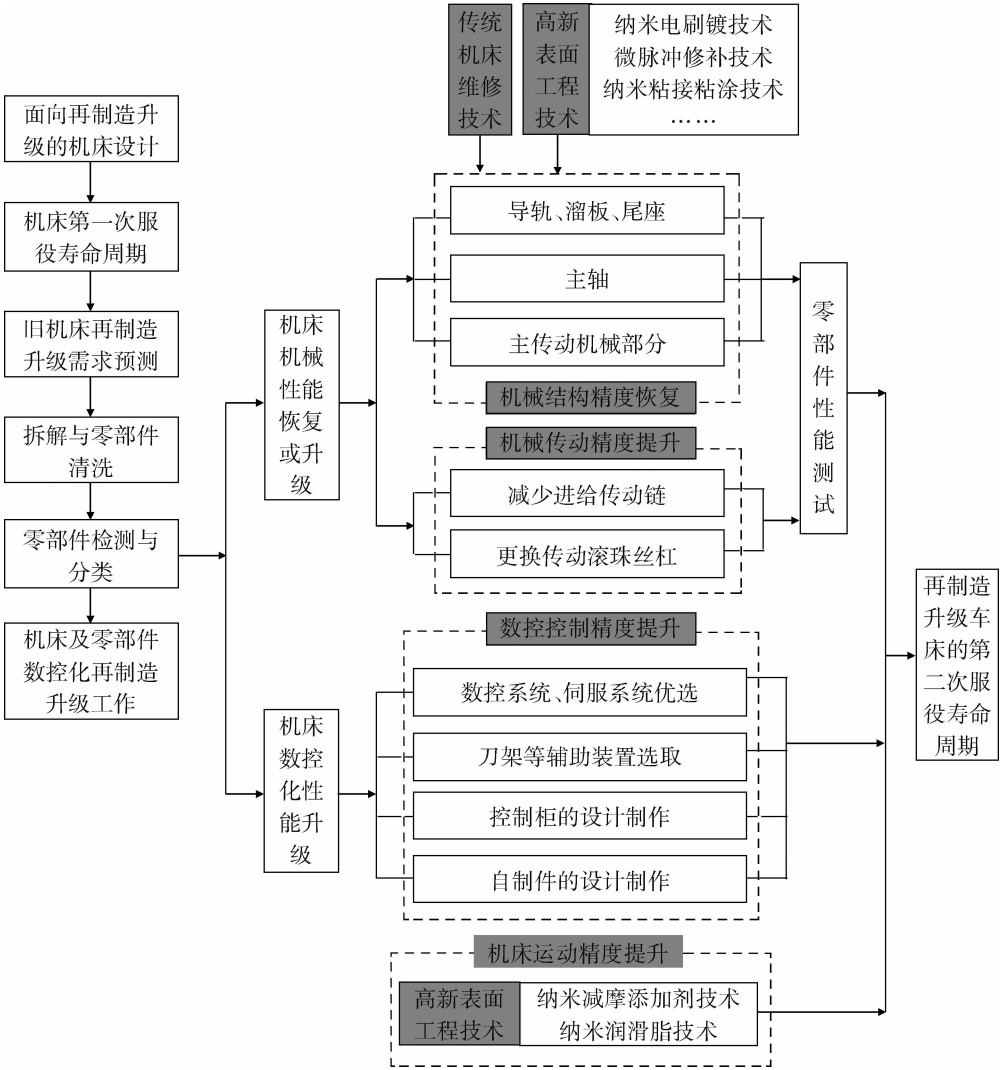


图 4 机床数控化再制造升级实施流程

Fig. 4 Remanufacturing upgrade process for machine tool

按照此流程,对 4 台机床 (C620、CA6140、加长 CA6140、C630)进行了信息化再制造升级。该 4 台机床生产于 20 世纪 70 年代,主要失效原因有磨损、划伤、疲劳损坏、碰伤、无数控化功能等。通过再制造升级可以显著地提高机床信息化程度和加工精度。在相同使用效果情况下,旧机床再制造升级费用仅为购置同类型新数控车床费

用的 1/3~1/5。升级后机床的运动精度达到 X 向 0.005 mm/脉冲,Z 向 0.01 mm/脉冲,安装有微型计算机数字控制装置和相应的伺服系统,加工零件程序可存储在数控机床内,提升机床的控制性能与控制精度,实现零件加工制配的自动或半自动化操作,其最终加工精度检测数据如表 1 所示。

表 1 CA6140 车床精度再制造升级情况检测报告

Table 1 Precision report of the upgraded CA6140 machine tool

检验项目	允许误差	实测误差	升级后误差
主轴轴线对溜板移动的平行度	$a=0.02/300$ $b=0.015/300$	$a=0.22$ $b=0.15$	$a=0.02$ $b=0.015$
溜板移动对尾座顶尖轴方向的平行度	$a=0.03/300$ $b=0.03/300$	$a=0.010$ $b=0.015$	$a=0.01$ $b=0.015$
主轴轴肩支撑面的跳动	0.02	0.015	0.005
主轴定心轴颈的径向圆跳动	0.01	0.020	0.005
主轴锥孔轴线的径向跳动	$a=0.01$ $b=0.02/300$	$a=0.05$ $b=0.3$	$a=0.01$ $b=0.02$
溜板移动在垂直平面的直线度	0.04	0.42	0.04

5 结 论

(1) 再制造升级的全域工作内容既包括在产品第一次寿命期间的再制造升级性设计、应用与保持,也包括在第二次寿命起使阶段所进行的全部再制造升级工作及升级后使用,进而重复的再制造升级就形成了产品的多寿命周期使用。

(2) 根据再制造升级全域的工作内容,首次系统构建了一个包括产品再制造升级工程技术层、再制造升级评估监控技术层、再制造升级支撑技术层的由里及外的三层次结构的产品再制造升级技术框架,对其技术发展提供了研究思路。

(3) 以产品再制造升级的全域工作内容和再制造升级技术内容为基础,拓展构建了包括基础理论、工程技术和应用工具的三模块再制造升级理论与技术系统,可为再制造升级的工程应用及方案决策提供具体支撑。

(4) 机床数控化再制造升级具有显著的再制造升级系统特点,根据提出的再制造升级理论与

技术系统内容,构建了机床再制造升级技术工程方案,开发了其相应理论模块、技术模块和工具模块内容,并进行了机床数控化再制造升级验证,达到了数控化和精度要求。

参考文献

[1] 徐滨士,张伟,马世宁,等. 向 21 世纪的绿色再制造 [J]. 中国表面工程, 1999, 12(4): 1-5.
Xu B S, Zhang W, Ma S N, et al. Green remanufacturing towards the 21st century [J]. China Surface Engineering, 1994, 12(4): 1-5 (in Chinese).

[2] 朱胜. 再制造技术创新发展的思考 [J]. 中国表面工程, 2013, 26(5): 1-5.
Zhu S. Ponderation and analysis on remanufacturing technology development [J]. China Surface Engineering, 2013, 26(5): 1-5 (in Chinese).

[3] 陈庄,刘永梅. 产品装备多生命周期工程——背景、现状和展望 [J]. 重庆工学院学报, 2000, 14(1): 1-6.
Chen Z, Liu Y M. Product multi-lifecycle engineering—background, present situation and prospects [J]. Journal of Chongqing Institute of Technology, 2000, 14(1): 1-6 (in Chinese).

[4] 朱胜,姚巨坤. 装备再制造升级及其工程技术体系 [J]. 装甲兵工程学院学报, 2011, 25(6): 67-70.
Zhu S, Yao J K. Equipment remanufacturing upgrading and its engineering technology system [J]. Journal of Academy of Armored Force Engineering, 2011, 25(6): 67-70 (in Chinese).

[5] 姚巨坤,时小军. 废旧机电装备信息化再制造升级研究 [J]. 机械制造, 2007(4): 1-4.
Yao J K, Shi X J. Study for used mechanic-electric equipment information remanufacturing upgrade [J]. Machinery, 2007 (4): 1-4 (in Chinese).

[6] 朱胜,姚巨坤. 基于再制造的装备多寿命周期工程 [J]. 装甲兵工程学院学报, 2009, 23(4): 1-5.
Zhu S, Yao J K. Equipment multi-life cycle engineering based on remanufacturing [J]. Journal of Academy of Armored Force Engineering, 2009, 23(4): 1-5 (in Chinese).

[7] 朱胜,姚巨坤. 装备再制造设计及其内容体系 [J]. 中国表面工程, 2011, 24(4): 1-6.
Zhu S, Yao J K. Equipment remanufacturing design and its content system [J]. China Surface Engineering, 2011, 24 (4): 1-6 (in Chinese).

(责任编辑:陈茜)